

공기공급량 조절이 음식물쓰레기 고속 발효효율에 미치는 영향

권성환 · 이동훈 · *김태동 · **이금용
 서울시립대학교 도시과학대학 환경공학부
 * 국립 안동대학교 공과대학 토목환경공학과
 ** 주식회사 ENV 21

I. 서론

권 등^(1~4)은 음식물쓰레기의 실 규모의 fed-batch식 고속 발효과정에서 적정 운전인자 도출에 관한 연구를 통해, 고속 발효과정에서 반응초반 pH 하락은 반응속도의 저하 뿐 아니라 휘발성 유기산 생성 등에 의한 악취문제를 유발할 수 있음을 보고한 바 있으며, 이전 논문⁽¹⁾에서는 그 개선방안인 인위적인 pH 재조정은 처리효율의 향상을 기대할 수 있음을 보고 한 바 있다. 음식물쓰레기 투입 초기 pH 하락은 호기성 분해반응이 급격하게 진행하여, 그 결과로 발생하는 이산화탄소 및 국부적 혐기 조건에 의한 저급 휘발성 유기산에 의한 것으로 알려져 있다⁽⁵⁾. 호기성 발효과정에서 반응초반 pH하락에 대한 또 다른 operating conditioning⁽⁶⁾으로서, 본 연구에서는 fed-batch의 각 cycle에서 공기공급량 조절에 따른 고속 발효공정의 효율을 비교 평가하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

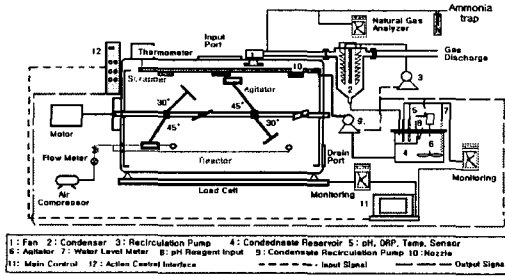


Fig. 1 Schematic diagram of composting system

Table 1. Properties food waste and bulking agent

Component	Food Waste	Bulking Agent
pH	4.75	7.27
Moisture content (%)	77.7	47.93
Volatile Solid (%)	95.07	90.42
Ash	1.13	5.05
TOC*	10.74	0.45
TN*	0.08	0.06
C/N*	139.7	7.5

Mean values. * : Water extractable contents, Dry basis

본 연구에서 사용한 음식물쓰레기는 S 대학 내의 구내식당에서 발생하는 음식물쓰레기를 대상 (Table 1)으로 하였으며, 수분조절제로는 톱밥과 wood chip의 혼합물로 사전에 3주간 숙성시킨 것을 사용하였다. 고속 발효장치는 스테인레스 스틸 재질로, 길이 1,800mm, 폭 1,200mm, 높이 1,600mm의 규격을 갖는 반원형의 실 규모 (유효용적 1.0m³) 처리장치로 Fig. 1에 본 장치의 모식도를 나타내었다. 그림에서 응축수의 제조 및 재 순환과 그 모니터링에 관한 부분이 포함되어 있지만^(2,3), 본 논문에서는 생략하였다.

1. fed-batch 실험

fed-batch 실험 (Run No.)은 총 3회에 걸쳐 실시하였다. 각 Run은 총 3회의 batch cycle로 구성하였으며, 첫

[연락처] (우)130-743 서울시 동대문구 전동동90 서울시립대학교 도시과학대학 환경공학부 폐기물연구실 권성환, Tel. : 02-2210-2591, Fax. : 02-2244-2245, E-mail : shkwon@ene.uos.ac.kr

Table 1. Operating conditions of each fed-batch test

Fed-batch No.	Batch Cycle No.	Stage	Air Supply Rate (L/min)	Initial pH	Initial Moisture Content*	Reaction Time (Hrs)*	Input Materials (kg)	
							Food Waste	Bulking Agent
Run 1	3	-	16.3	8.2	50.5	57	70	280
Run 2	3	S1	45.3	8.30	49.3	19	70	280
		S2	16.3			26		
Run 3	3	S1	63.4	8.79	50.8	19	70	280
		S2	16.3			27		

* : Mean values of all cycles in each fed-batch test

번째 cycle에서 음식물쓰레기와 수분조절제의 혼합비는 습중량비로 1 : 4로 조정하였다. Run 1에서는 공기공급량을 전체 운전기간 동안 일정하게 (16.3L/min) 유지한 실험을 실시하였으며, Run 3과 4에서는 각 cycle별로 두 구간으로 구분하여 공기공급량을 조정하였다. 음식물쓰레기 투입초기 pH 하락구간에서는 Run 1의 일정한 공기공급량의 약 3배 (Run 3에서 45.3L/min) 와 4배 (Run 4에서 63.4L/min)로 증가시켜 공급하였으며, 이후 pH가 재상승하는 지점에서 이전 운전과 같은 공기공급율로 조정하였다. 각 fed-batch 실험별 운전조건은 Table 1과 같다.

2. 고속 발효효율 평가

고속 발효과정의 평가를 위해 반응시간에 따라 반응물의 각종 이화학적 성분 분석, 배가스 성분 분석, 현장 분석 등을 실시하였다. 그 각각의 분석방법에 대해서는 이전 논문⁴¹⁾에서 자세히 보고하였다. 고속 발효효율은 총 습중량 감량 속도, 이산화탄소 발생속도, 암모니아 발생속도 등⁴¹⁾으로 비교 평가하였다.

III. 실험결과

1. 일정한 공기공급에서 음식물쓰레기 fed-batch 공정 평가

Fig. 2에는 공기공급량을 일정하게 유지한 Run 1에서 일반적인 운전지표의 변화경향을 나타내었다. 그림에서도 볼 수 있듯이 모든 일반적인 운전지표가 각 cycle에서 유사한 변화경향을 보였다. 즉, 반응온도는 음식물쓰레기 투입 초기 급격한 상승을 하며, 이후 pH 변화에 따라 변화됨을 알 수 있었다 (Fig. 2 (A)). 특히, 반응초반 pH의 급격한 하락은 반응온도 및 이산화탄소의 발생 저하 (Fig. 3)를 유발하여 반응속도가 저하되는 원인이 되었다. 이 같은 현상은 藤田⁵¹⁾이 제시한 결과와 정확히 일치하였다. 이전 논문에서는 이 같은 pH 저하에 대한 대응으로 반응도중 pH 재조정을 통해 반응속도의 향상을 기대할 수 있었다⁴¹⁾. 반응초반 이후 pH는 Fig. 2의 B에서 볼 수 있듯이 각 음식물쓰레기 투입 운전주기의 반응중반 이후 발생하는 암모니아 생성과 함께 재상승하며, 반응온도와 이산화탄소 발생도 재차 증가하는 일정한 경향을 보였다. 투입 초기에 다소 높은 발생은 이전 cycle에서의 높은 pH영역 때문인 것으로 사료된다. 즉, 암모니아 발생은 반응물의 pH와 밀접한 상관성이 있음을 재차 확인할 수 있었다.

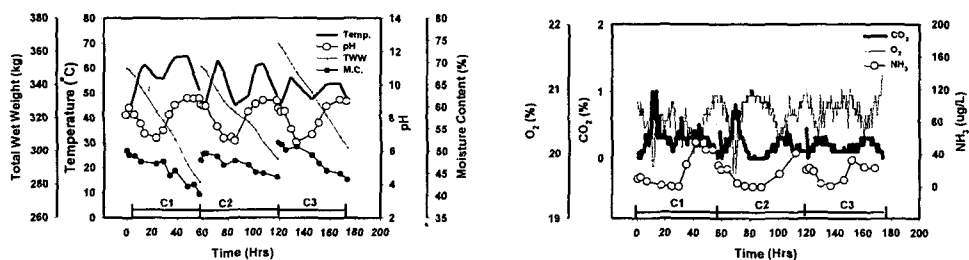


Fig. 2. Time courses of traditional operating indices during fed-batch test, Run 1

2. 공기공급량 조정의 영향

음식물쓰레기 fed-batch 식 호기성 발효처리 과정에서 반응초반 pH 하락에 의한 반응속도의 저하는 operating conditioning을 통해 대처할 수 있으며, 본 연구에서는 공기공급량을 반응초반 및 중반 이후 두 구간으로 설정하여 조정한 경우, pH하락을 현저히 저감시킬 수 있음을 알 수 있었다. 그 결과를 Fig. 3에 대표적으로 Run 2에 대해서 나타내었다. 즉, 공기공급량을 증가시켜 공급한 경우 반응초반의 pH는 공기공급량을 일정하게 한 경우 (Run 1)에 비해 그 감소 폭이 크게 둔화됨을 알 수 있었으며, 이에 따라 pH, 반응온도 및 이산화탄소 발생도 높게 유지되었다. 이는 공기공급량의 증가로 pH 저하에 완충능을 갖는 암모니아 발생을 반응초반부터 높게 할 수 있었기 때문인 것으로 사료되며 (Fig. 4), 공기공급량에 따른 평균 암모니아 발생농도 및 누적 암모니아의 발생속도는 매우 높은 선형의 관계로부터 확인할 수 있었다 (Fig. 4, 5). 이 같은 결과는 퇴비화 과정에서 암모니아의 발생은 공기공급량의 증가에 따라 증가한다는 Osada 등⁷⁾의 연구결과와 잘 일치하였다.

결국, 공기공급량의 증가는 반응초반 국부적으로 생성 가능한 혐기성 부분을 최소화하여 반응속도를 높게 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 공기공급량 증가에 따른 습중량 감량속도 및 누적 이산화탄소 발생속도와와의 관계를 통해 파악할 수 있었으며, 그 결과를 Fig. 6에 각각 나타냈다. 즉, 호기성 발효속도를 평가할 수 있는 지표⁶⁾인 습중량 감량속도 및 누적 이산화탄소 발생속도 모두 공기공급량을 16.3L/min에서 63.4L/min까지 증가시킴에 따라 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 단, 공기공급량 63.4L/min에서는 그 반응속도의 증가폭이 다소 둔화됨을 보였는데, 이는 과잉 공기공급으로 인한 수분증발의 가속화 및 반응온도 저하에 의해 반응속도가 다소 영향을 받았기 때문인 것으로 사료된다⁶⁾.

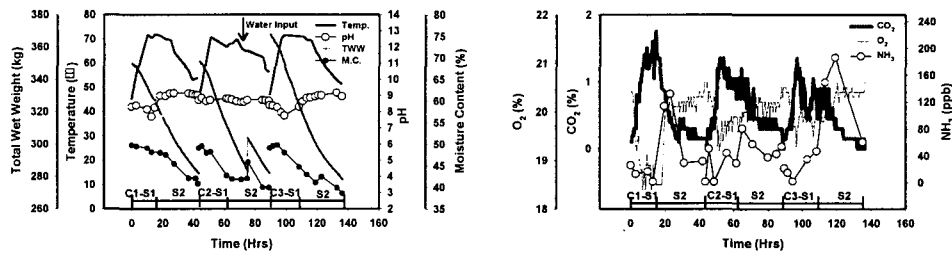


Fig. 3. Time courses of traditional operating indices during fed-batch test, Run 2

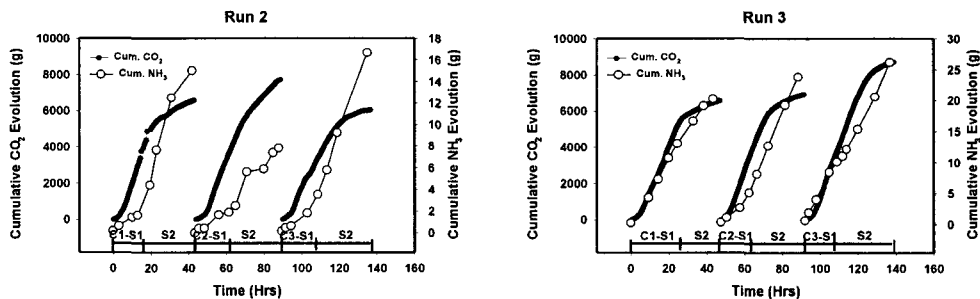


Fig. 4. Time courses of cumulative quantities of CO₂ and NH₃ during each fed-batch test, Run 2 and 3

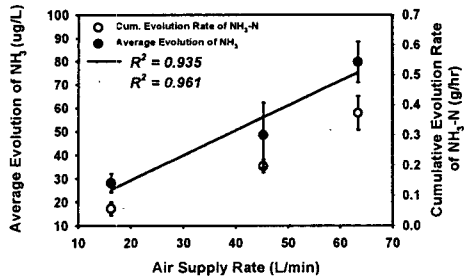


Fig. 5. Correlation between air supply rate and average evolution of NH₃ and cumulative evolution rate of NH₃-N

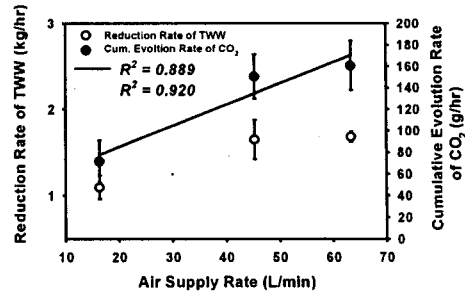


Fig. 6. Correlation between air supply rate and reduction rate of total wet weight (TWW) and cumulative evolution rate of CO₂

IV. 결론

실 규모의 pilot plant를 이용하여 공기공급량 조절이 음식물쓰레기의 fed-batch식 고속 발효과정에 미치는 영향을 조사하였다.

fed-batch식 고속 발효과정에서 음식물쓰레기 투입 운전주기의 반응초반 공기공급량을 증가시키는 operating conditioning을 통해 급격한 pH 저하에 따른 반응속도의 저하에 대응할 수 있었다. 즉, 공기공급량을 반응초반에 높게 공급함으로써 pH 저하에 대응할 수 있는 암모니아 발생량을 반응초반부터 높게 유지할 수 있었다. 공기공급량과 암모니아 발생량과는 매우 높은 선형의 관계 ($R^2 = 0.935$) 보였다. 또한, 음식물쓰레기의 호기성 분해지표인 이산화탄소 발생속도와 습중량 감량속도 모두 공기공급량과 선형의 관계 ($R^2 = 0.889, 0.920$)를 보였으며, 일정한 수준까지 공기공급량을 증가시킴으로써, 음식물쓰레기의 호기성 발효속도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

V. 참고문헌

1. 권성환, 권순옥, 이동훈: 음식물쓰레기 호기성 발효처리과정에서 소석회를 이용한 초기 pH 조정의 영향, 한국폐기물학회지, Vol. 16, No. 5, pp.489-498, (1999)
2. Kwon, S. H., Lee, D. H., Lee, S. R., and Kim, U. Y. : Simple Operating Indices of High-rate Composting Process using the Properties of Condensate (I), J. Korean Solid Wastes Eng. Soc., Vol. 5, No. 1, pp.1-72, (2000)
3. Kwon, S. H., Lee, D. H., Lee, S. R., and Kim, T. D., : Simple Operating Indices of High-rate Composting Process using the Properties of Condensate (II), J. KSWES, Vol. 5, Vol. 2, (2000) (in press)
4. 권성환, 권정안, 이동훈, 김태동 : Fed-batch 식 고속 발효과정에서 pH 재조정이 음식물쓰레기 처리효율에 미치는 영향, 한국폐기물학회지, Vol. 18, No. 2, pp.218-227, (2001)
5. 藤田賢二 : コンポスト化技術 - 廢棄物有效利用のテクノロジー, 技報堂出版, (1993)
6. Haug, R. T. : Practical Handbook of Composting Engineering, Lewis Publishers, (1993)
7. Osada T, Kuroda K, and Yonaga M, : Determination of Nitrous Oxide, Methane, and Ammonia Emission from a Swine Waste Composting Process. Journal of Matter Cycles Waste Management, Vol. 2, No. 1, pp51-56, (2000)